

Научная статья

УДК 665.7.038.3

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-133-141>



Улучшение эксплуатационных свойств автобензинов за счет оптимизации коэффициента распределения детонационной стойкости

Е.Б. Ковалева*✉, С.Г. Дьячкова*, А.А. Ганина**, Ж.Н. Артемьева**,
И.Е. Кузора**, Т.Н. Гершпигель**, Д.А. Олейник**

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

**АО «Ангарская нефтехимическая компания», г. Ангарск, Российская Федерация

Аннотация. В последнее время наряду с ростом потребления автобензинов наблюдается тенденция к ужесточению эксплуатационных и экологических требований к их качеству. Весьма существенным требованием автобензина является не только высокая детонационная стойкость бензина в целом, но и равномерное распределение октанового числа по фракциям. Это свойство имеет большое значение для обеспечения нормальной работы двигателя на переменных режимах. Вместе с тем большинство из используемых в настоящее время оксигенатов и присадок на их основе имеют узкий интервал температур кипения и неравномерно распределены по фракциям топлива. Объектами исследования являлись промышленно доступные оксигенаты: метил-трет-бутиловый эфир, изобутиловый спирт и смесь насыщенных углеводородов, получаемых в процессе сернокислотного алкилирования олефинов (алкилат). Предложен состав композиционной смеси при соотношении следующих компонентов: алкилат – 50–70% масс., метил-трет-бутиловый эфир – 15–25% масс., изобутиловый спирт – 15–25% масс. соответственно, позволяющий в равной мере увеличить октановое число узких низкокипящих и высококипящих фракций, входящих в состав бензиновой смеси, т.е. значение коэффициента распределения детонационной стойкости, близко к максимуму – 1. В результате исследования влияния 3-компонентной смеси на эксплуатационные характеристики при вовлечении в автомобильные бензины установлено, что применение 3-компонентной смеси в качестве высокооктанового кислородсодержащего компонента в составе топлива в интервале концентраций от 25,0 до 45,5% масс. обеспечивает равномерное распределение детонационной стойкости по фракциям и способствует повышению энергоэффективности топлива за счет увеличения удельной теплоты сгорания.

Ключевые слова: коэффициент распределения детонационной стойкости, энергоэффективность, оксигенаты, легкие углеводороды, автомобильные бензины

Для цитирования: Ковалева Е.Б., Дьячкова С.Г., Ганина А.А., Артемьева Ж.Н., Кузора И.Е., Гершпигель Т.Н., Олейник Д.А. Улучшение эксплуатационных свойств автобензинов за счет оптимизации коэффициента распределения детонационной стойкости // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. N 1. С. 133–141. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-133-141>.

CHEMICAL TECHNOLOGY

Original article

Improving the performance of motor gasolines by optimizing their knock resistance distribution factor

Ekaterina B. Kovaleva*✉, Svetlana G. D'yachkova*, Anna A. Ganina**,
Zhanna N. Artemyeva**, Igor E. Kuzora**, Tatiana N. Gerspiegel**, Daniil A. Oleinik**

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

**SC "Angarsk Petrochemical Company", Angarsk, Russian Federation

Abstract. The growth of gasoline consumption worldwide is imposing stricter operational and environmental requirements on fuel quality. These requirements include not only a high knock resistance of gasoline, but also a uniform distribution of the octane number by fractions. The latter property is of great importance for reliable operation of the engine at variable modes. At the same time, most of the currently used oxygenates and additives produced on their basis exhibit a narrow boiling point range and are unevenly distributed over the fuel fractions. In this work, we study industrially available oxygenates, including methyl-tert-butyl ether, isobutyl alcohol, and a mixture of saturated hydrocarbons obtained in the process of sulfuric acid alkylation of olefins (alkylate). A composite

mixture of alkylate, methyl tert-butyl ether, and isobutyl in the ratio of 50–70 wt%, 15–25 wt%, and 15–25 wt%, respectively, is proposed. This composition allows an equal increase in the octane number of narrow low-boiling and high-boiling fractions in the gasoline mixture, with the factor of knock resistance distribution being close to the maximum value of 1. The effect of the studied three-component mixture on the performance of respective motor gasolines was investigated. It was found that the addition of the studied mixture as a high-octane oxygen-containing fuel component in the concentration range from 25.0 to 45.5 wt% provides for a uniform distribution of knock resistance over the fractions and improves the energy efficiency of the fuel by increasing its specific heat of combustion.

Keywords: distribution coefficient of detonation resistance, energy efficiency, oxygenates, light hydrocarbons, motor gasolines

For citation: Kovaleva E.B., D'yachkova S.G., Ganina A.A., Artemyeva Zh.N., Kuzora I.E., Gerspiegel T.N., Oleinik D.A. Improving the performance of motor gasolines by optimizing their knock resistance distribution factor. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(1):133-141. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-133-141>.

ВВЕДЕНИЕ

Важной задачей российской нефтепереработки, повышающей ее конкурентоспособность, является доведение эксплуатационных и экологических свойств автомобильных бензинов до требований мирового уровня. Растет потребность в моторных топливах с октановым числом (ОЧ) 95 и выше [1, 2]. В последнее время особое значение в производстве высокооктановых бензинов экологического класса приобрели многофункциональные добавки, в том числе оксигенаты [3–9], обеспечивающие увеличение детонационной стойкости и полноту сгорания моторных топлив. При этом не всегда достигается равномерное распределение ОЧ в узких бензиновых фракциях [10–12], определяемое как коэффициент распределения детонационной стойкости (КРДС). Этому показателю отводится важная роль, т.к. от него зависит стабильность (бесперебойность) и надежность работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) от такта впрыска топлива в цилиндры ДВС до такта выпуска продуктов сгорания с учетом в 4-тактных ДВС тактов сжатия и рабочего хода. КРДС определяется как отношение полученных по исследовательскому методу октановых чисел (ИОЧ) фракций бензина, выкипающих в пределах: температура начала кипения (НК) – 100 °С и 100 °С – температура конца кипения (КК)¹. Стоит отметить, что по техническим характеристикам и эксплуатационным свойствам, экономичному расходу и экологичности применения с точки зрения полноты сгорания (снижения выброса в атмосферу продуктов неполного сгорания) лучшим моторным топливом является бензин, у которого КРДС равен 1 [13]. Так, в настоящее время в качестве антидетонационной присадки как самостоятельно, так и в смеси с другими октаноповышающими веществами используется метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ) [14–19], обладаю-

щий высокой детонационной стойкостью, октановое число смешения которого может достигать до 135 ед. в зависимости от углеводородов, входящих в бензин [14, 20]. Однако более низкая, чем у углеводородов, теплота сгорания (38220 кДж/кг) является недостатком МТБЭ². Многоатомным продуктом отечественной промышленности, применяющимся в качестве октаноповышающей добавки, являются бутиловые спирты [21–23]. Согласно ТР ТС 013/2011, изобутанол может вовлекаться в автомобильные бензины до 10% об.³ Вместе с тем установлено⁴, что использование индивидуальных оксигенатов в приготовлении автобензинов приводит к неравномерности распределения детонационной стойкости по фракциям и к снижению общей теплоты сгорания топлива, что ведет к увеличению расхода топлива. Одним из высокооктановых компонентов автобензинов является алкилат – смесь насыщенных углеводородов, получаемых в процессе сернокислотного алкилирования олефинов. Алкилат – идеальный компонент бензина, поскольку имеет высокие ОЧ по исследовательскому (не ниже 95,0) и моторному (не ниже 92,0) методам, не содержит ароматических соединений, олефинов и серы, имеет широкий фракционный состав [24], однако значения ОЧ алкилата ниже по сравнению с оксигенатами. В связи с этим решением проблемы производства автобензинов, отвечающих мировым стандартам, в том числе по КРДС, будет являться разработка композиционных смесей, способных за счет компонентов, входящих в их состав, равномерно распределяться в узких фракциях, улучшая тем самым эксплуатационные характеристики моторных топлив.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Оценка качественных эксплуатационных характеристик топливных композиций проводилась согласно

¹ГОСТ 26370-84. Бензины автомобильные. Метод оценки распределения детонационной стойкости по фракциям: гос. стандарт союза ССР; введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19.12.1984 г. N 4651.

²Метилтретбутиловый эфир [Электронный ресурс]. URL: <https://e-him.ru/?page=dynamic§ion=33&article=233> (03.02.2022).

³Решение Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. N 826 «О принятии технического регламента Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту».

⁴Капустин В.М. Технология производства автомобильных бензинов. М.: Химия, 2015. 256 с.

государственным стандартам с применением стандартизированных методик и средств измерений.

Объектами настоящего исследования являлись промышленно доступные оксигенаты отечественного производства: МТБЭ; изобутиловый спирт (ИБС); смесь насыщенных углеводородов, получаемых в процессе сернокислотного алкилирования олефинов (алкилат); бензин неэтилированный марок АИ-95-К5 и АИ-98-К5.

Октановое число по ИОЧ определяли по ГОСТ 8226-2015⁵, по моторному методу (МОЧ) – по ГОСТ 511-2015⁶. В качестве стандартного одноцилиндрового двигателя использовали установки отечественного производства типа УИТ-85. Октановое число по ИОЧ устанавливали по результатам сравнения стандартной интенсивности детонации образца испытуемого бензина в стандартных двигателях (CFR или типа УИТ) при стандартных условиях и степени сжатия с интенсивностью детонации первичной эталонной топливной смеси (ПЭТС). В ходе испытаний регулировали соотношение топливо–воздух для образца испытуемого топлива и для каждой из ПЭТС для достижения максимальной интенсивности детонации. Далее определяли состав ПЭТС, стандартная интенсивность детонации которой при испытании с той же степенью сжатия, что и образец испытуемого топлива, имеет то же октановое число. Октановое число этой ПЭТС принимали за октановое число испытуемого образца топлива.

КРДС по фракциям определяли по ГОСТ 26370-84⁷. КРДС характеризует равномерное распределение детонационной стойкости по узким фракциям и определяется как отношение ИОЧ полученных разгон-

кой фракций испытуемого образца бензина, выкипающих в пределах: НК – 100 °С, 100 °С – КК. Идеальным КРДС считается значение близкое к 1 [10, 11].

Отбор проб нефтепродуктов осуществляли согласно требованиям ГОСТ 2517-2012⁷.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве объектов исследования нами были выбраны промышленно доступные оксигенаты (МТБЭ и ИБС) и смесь насыщенных углеводородов (алкилат), автомобильные бензины экологического класса 5, типовая базовая основа которых имеет следующий состав (табл. 1).

В ходе исследования образец базовой основы был разделен на узкие фракции с последующим определением для каждой из них октановых чисел по ИОЧ и МОЧ (табл. 2).

Определение ОЧ узких фракций базовой основы (см. табл. 2) показало неравномерность распределения детонационной стойкости ($KPDC_{\text{баз}} = 0,72$). Наибольшим ОЧ обладают фракции 100^{баз} °С – КК (см. табл. 2), что обусловлено наличием в высококипящих фракциях базовой основы ароматических углеводородов тяжелого риформата, а также изопарафинов и олефинов бензина каталитического крекинга.

С целью оптимизации значения КРДС к составу базовой основы необходимо добавить соединения, имеющие температуру кипения ≤100 °С, обладающие достаточно высокой детонационной стойкостью и не запрещенные нормативными документами по содержанию в бензинах. В качестве таких соединений нами были выбраны промышленно доступные оксигенаты (МТБЭ и ИБС) и смесь насыщенных угле-

Таблица 1. Состав базовой основы бензина экологического класса 5

Table 1. Composition of the base of 5 ecological class gasoline

Наименование	Массовая доля, % масс.	Интервал температур кипения (Тнк – Ткк), °С
Тяжелый риформат	50	101–204
Изомеризат	25	30–70
Защелоченный гидрогенизат фракции бензина каталитического крекинга	25	130–210

Таблица 2. Октановые числа узких бензиновых фракций базовой основы бензина

Table 2. Octane numbers of narrow gasoline fractions of the gasoline base

Пределы выкипания фракции, °С	Октановые числа	
	моторный метод	исследовательский метод
н.к. – 80	82,0	83,4
80–100	63,4	65,5
100–120	87,6	98,6
120–150	89,3	103,1
150–180	101,8	106,9

⁵ГОСТ 8226-2015. Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа: межгосуд. стандарт; введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.12.2015 г. N 2152-ст.

⁶ГОСТ 511-2015. Топливо для двигателей. Моторный метод определения октанового числа: межгосуд. стандарт; введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.12.2015 г. N 2151-ст.

⁷ГОСТ 2517-2012. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб: межгосуд. стандарт; введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 24 октября 2012 г. N 52).

Таблица 3. Физико-химические характеристики индивидуальных компонентов

Table 3. Physico-chemical characteristics of individual components

Наименование показателя качества	Компонент	Алкилат	Метил-трет-бутиловый эфир	Изобутиловый спирт
Октановое число по исследовательскому методу		96,5	116,0	110,0
Фракционный состав:				
Температура начала кипения, °С		31,0	55,0	108,0
Объемная доля испарившегося образца, % при температуре: 70 °С		15,0	100,0	0,0
100 °С		34,0	100,0	0,0
150 °С		95,0	100,0	100,0
Конец кипения, °С		191,5	–	–
Остаток в колбе, % об.		1,0	–	–
Давление насыщенных паров, кПа		62,7	72,6	3,3

водородов (алкилат), в табл. 3 представлены их показатели качества.

Анализ фракционного состава компонентов показал, что 34% об. алкилата перегоняется при температуре 100 °С, 95% об. – при температуре 150 °С, что позволяет предположить об относительно равномерном распределении различных углеводородов по фракциям. Вместе с тем алкилат практически полностью состоит из изопарафинов, обладающих высоким октановым числом по исследовательскому методу⁸, выкипающих в пределах 60–110 °С, что дает возможность получения автомобильных бензинов с равномерной антидетонационной характеристикой [25]. Введение в автомобильные бензины высокооктановой добавки в виде эфиров – МТБЭ, который имеет ОЧ порядка 116 единиц, а температуру кипения – 55 °С, позволит существенно улучшить антидетонационные свойства легкокипящих составляющих бензина (фракции НК – 100 °С)⁹, ИБС, напротив, является высококипящим кислородсодержащим органическим соединением и имеет температуру кипения выше 100 °С. Его применение в качестве высокооктановой добавки к бензинам приведет к повышению ОЧ фракции при температуре 100 °С – КК. Бутиловые спирты по сравнению с МТБЭ имеют ряд преимуществ. В частности они обладают низким давлением насыщенных паров [26], оказывая стабильность качественных характеристик при хранении товарного топлива. Основываясь на физико-химических характеристиках индивидуальных компонентов, предполагаем, что создание 3-компонентной смеси с большим содержанием насыщенных парафинов

приведет к равномерному распределению детонационной стойкости в автомобильных бензинах.

Для установления оптимального состава 3-компонентной смеси варьировалось соотношение компонентов: алкилат, МТБЭ, ИБС. Оценочным показателем к оптимизации служил КРДС по фракциям, полученный в лабораторных условиях для образцов бензина с вовлечением 3-компонентной смеси. Для этого с помощью программного пакета Aspen PIMS Program¹⁰ (Process Industry Modeling System¹¹) был смоделирован состав автомобильных бензинов с вовлечением 3-компонентной смеси в АИ-95-К5 в количестве 25,0% масс. и в АИ-98-К5 – 45,5% масс., при соотношении компонентов: алкилат – 40÷80% масс., МТБЭ – 10÷30% масс., ИБС – 10÷30% масс. Полученным образцам топливных композиций была проведена оценка распределения детонационной стойкости по фракциям. Для этого образцы автомобильных бензинов АИ-95-К5 и АИ-98-К5 в лабораторных условиях были разделены на узкие фракции НК – 100 °С и 100 °С – КК (ГОСТ 26370) с последующим определением для каждой из них ОЧ исследовательским методом (ГОСТ 8226). На основе полученных данных был рассчитан КРДС (табл. 4).

Из приведенных в таблице 4 данных видно, что оптимальное и эффективное соотношение 3-компонентной смеси следующее: алкилат – 50÷70% масс., МТБЭ – 15÷25% масс., ИБС – 15÷25% масс. соответственно, позволяющее в равной мере увеличить ОЧ узких низкокипящих и высококипящих фракций, входящих в состав бензиновой смеси, т.е. значение КРДС близко к максимуму – 1.

⁸Шириязданов Р.Р. Научно-прикладные основы процесса алкилирования изобутана олефинами на цеолитсодержащих катализаторах: дис. ... д-ра тех. наук. Уфа, 2017. 412 с.

⁹Капустин В.М. Технология производства автомобильных бензинов. М.: Химия, 2015. 256 с.

¹⁰Aspen PIMS Program (Process Industry Modeling System) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aspentech.com/en/resources/brochure/aspen-pims-family> (24.04.2019).

¹¹PIMS (экономико-технологическая система моделирования нефтепереработки) – инструмент построения методом линейного программирования (ЛП) моделей планирования процессов нефтепереработки для создания оптимальных планов, включая оценку альтернатив сырой нефти, промежуточного сырья, сырья, получаемого за границами рассматриваемой установки, технологий, продуктов и рынков.

Таблица 4. Показатели качества топливных композиций на базе автомобильных бензинов и 3-компонентной смеси

Table 4. Quality indicators of fuel compositions based on motor gasoline and a three-component mixture

Наименование показателя	Топливная композиция									
	АИ-95-К5 + 25,0% масс. 3-компонентной смеси					АИ-98-К5 + 45,5% масс. 3-компонентной смеси				
Соотношение компонентов алкилат/метил-трет-бутиловый эфир/изобутиловый спирт, % масс.	(40/30/30)	(50/25/25)	(60/20/20)	(70/15/15)	(80/10/10)	(40/30/30)	(50/25/25)	(60/20/20)	(70/15/15)	(80/10/10)
Исследовательский метод октановых чисел фракции НК – 100 °С	91,5	91,9	92,2	92,8	93,1	97,9	97,0	97,9	98,5	99,1
Исследовательский метод октановых чисел фракции 100 °С – КК	104,2	98,9	98,4	97,5	100,8	103,9	99,2	99,2	99,0	101,7
Коэффициент распределения детонационной стойкости	0,88	0,93	0,94	0,95	0,92	0,94	0,98	0,99	0,99	0,97

В результате применения 3-компонентной смеси в диапазоне содержания компонентов: алкилат – 50÷70% масс., МТБЭ – 15÷25% масс., ИБС – 15÷25% масс. в качестве высокооктанового кислородсодержащего компонента (ВОК) в составе топлива показано, что он обеспечивает более равномерное распределение ОЧ по фракциям, равное для образца автобензина АИ-95-К5 – 0,95, для АИ-98-К5 – 0,99 (рис. 1), по сравнению со значениями 0,90 и 0,96 соответственно для бензинов без вовлечения ВОК.

Не менее важный эксплуатационный показатель

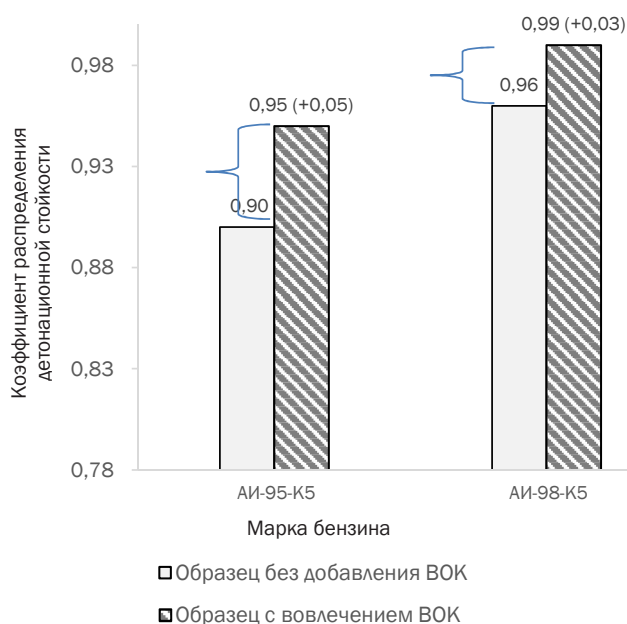


Рис. 1. Коэффициент распределения детонационной стойкости по фракциям образцов бензина с добавлением высокооктанового кислородсодержащего компонента

Fig. 1. Knock resistance distribution coefficient for gasoline fractions with the addition of high-octane oxygen component

двигателя – расход топлива, на который оказывает значительное влияние его теплота сгорания. Для 3-компонентной смеси с соотношением компонентов – алкилат – 50÷70% масс., МТБЭ – 15÷25% масс., ИБС – 15÷25% масс. – была рассчитана удельная теплота сгорания (рис. 2). Показано, что удельная теплота сгорания 3-компонентной смеси на 19% больше по сравнению с индивидуальными оксигенатами, использование данного компонента в составе автобензинов позволит повысить энергоэффективность топлива.

Установлено, что вовлечение в автомобильные бензины, имеющие типовой базовый состав (см. табл. 1), ВОК в диапазоне содержания компонентов – алкилат – 50÷70 % масс., МТБЭ – 15÷25% масс., ИБС – 15÷25% масс. соответственно – в процессе компаундирования бензинов в интервале концентраций от 25,0 до 45,5% масс. обеспечивает равномерное распределение детонационной стойкости по фракциям (образцы 2–6) и повышение энергоэффек-

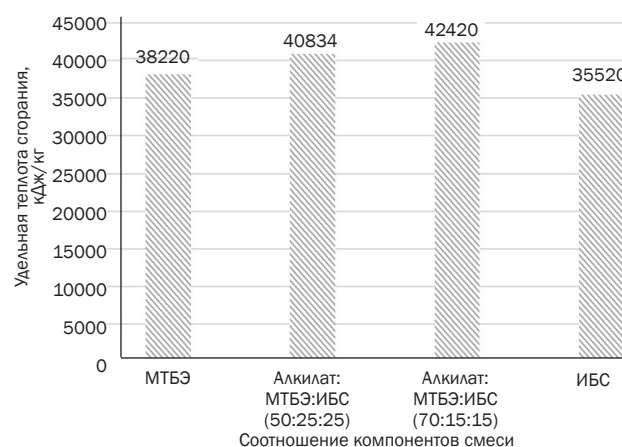


Рис. 2. Теплота сгорания индивидуальных оксигенатов и 3-компонентных смесей

Fig. 2. Combustion heat of individual oxygenates and three-component mixtures

Таблица 5. Эксплуатационные показатели образцов бензинов с вовлечением высокооктанового кислородсодержащего компонента

Table 5. Performance characteristics of gasoline samples with the involvement of a high-octane oxygen-containing component

Наименование показателя	Норма по ГОСТ 32513	Значения, полученные для образцов бензина						
Номер образца		1	2	3	4	5	6	7
Массовая доля компонента, % масс.	–	23,0	25,0	30,5	35,5	40,5	45,5	47,5
Содержание кислорода в бензине, % масс.	не более 2,7	2,0	2,2	2,5	2,4	2,5	2,7	2,8
Октановое число по исследовательскому методу	не менее 95,0	94,0	95,2	95,9	96,5	97,2	98,0	98,5
Коэффициент распределения детонационной стойкости	–	0,90	0,95	0,96	0,96	0,97	0,99	0,95
Увеличение удельной теплоты сгорания относительно базовой основы, кДж/кг	–	+9391	+10208	+12454	+14496	+16537	+18579	+19396

тивности топлива за счет увеличения удельной теплоты сгорания (табл. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложено использование в качестве компонента автобензинов ВОК, представляющего собой 3-компонентную смесь – алкилат:МТБЭ:ИБС в соотношениях (% масс.): (50–70):(15–25):(15–25) соответственно.

Установлено, что автомобильные бензины марок АИ-95-К5 и АИ-98-К5, приготовленные с вовлечением нового ВОК, соответствуют требованиям нормативных документов и обладают улучшенными эксплуатационными свойствами: высокий КРДС по фракциям и высокая энергоэффективность за счет увеличения удельной теплоты сгорания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сафина Т.А. Анализ предпочтений потребителей на рынке автомобильного бензина // Статистика и экономика. 2014. N 4. С. 174–178. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2014-4-174-178>.
2. Чиркова Ю.Н., Архипов И.В. Современные требования к автомобильному бензину // Аллея науки. 2018. N 5. С. 401–407.
3. Царев А.В., Карпов С.А. Повышение экологических и эксплуатационных характеристик автомобильных бензинов введением оксигенатов // Химическая технология. 2007. N 7. С. 324–329.
4. Ганина А.А. Современные автомобильные бензины с присадками на основе отечественного сырья // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2017. N 10. С. 42–48.
5. Ганина А.А., Дьячкова С.Г., Деркач Д.С. Современные автомобильные бензины с присадками на основе отечественного сырья // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: XII Всероссийская научно-техническая конференция (г. Москва, 12-14 февраля 2018 г.). М.: РГУНГ, 2018. С. 220–224.
6. Дубровский Д.А., Семёнов И.А., Кузора И.Е., Старикова О.В., Артемьева Ж.Н., Дьячкова С.Г. [и др.]. Расширение ассортимента присадок к базовым топливам в АО «АНХК». Проблемы и перспективы // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2018. N 12. С. 4–13.
7. McCormick R.L., Ratcliff M.A., Christensen E.D., Fouts L., Luecke J., Chupka G.M., et al. Properties of oxygenates found in upgraded biomass pyrolysis oil as components of spark and compression ignition engine fuels // Energy & Fuels. 2015. Vol. 29, no. 4. P. 2453–2461. <https://doi.org/10.1021/ef502893g>.
8. Abdellatief T.M.M., Ershov M.A., Kapustin V.M., Chernysheva E.A., Savelenko V.D., Abdelkareem M.A., et al. Uniqueness technique for introducing high octane environmental gasoline using renewable oxygenates and its formulation on fuzzy modeling // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 802. P. 149863. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149863>.
9. Ershov M.A., Savelenko V.D., Makhova U.A., Kapustin V.M., Abdellatief T.M.M., Potanin D.A., et al. New insights on introducing modern multifunctional additives into motor gasoline // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 808. P. 152034. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152034>.
10. Емельянов В.Е., Крылов И.Ф. Все о топливе. Автомобильный бензин и другие виды топлива: свойства, ассортимент, применение. М.: Астрель, 2003. 79 с.
11. Costa D.R. Gasoline octane number determination // Combustion. 1968. Vol. 39, no. 9. P. 18.

12. Abdellatief T.M.M., Ershov M.A., Kapustin V.M., Ali Abdelkareem M., Olabi A.G., Kamil M. Recent trends for introducing promising fuel components to enhance the anti-knock quality of gasoline: a systematic review // *Fuel*. 2021. Vol. 291. P. 120112.

13. Хамидуллин Р.Ф., Харлампики Х.Э., Никулин Р.М., Пучкова Т.А., Бадрутдинова А.Р., Галиуллина М.М. [и др.]. Технологичность, экологичность и экономичность оксигенатных добавок к моторному топливу // *Neftegaz*. 2015.

14. Микишев В.А., Трухина А.А., Андриянов М.В., Глазкова М.С. Промышленный опыт работы установок синтеза МТБЭ в АО «АНХК» // *Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний*. 2015. N 9. С. 29–31.

15. Пат. N 1838383, СССР, C10L 1/185, C10L 1/18. Композиция углеводородного топлива / О.А. Бурмистров, С.Р. Лебедев, Л.Н. Кузнецова, Г.П. Хотулев, Е.А. Платковский, В.П. Белянский, Г.А. Лесовой, В.В. Бевз, Р.Ш. Саримов; заявитель и патентообладатель Государственный научно-исследовательский институт по химмотологии. Заявл. 17.01.1992; опубл. 30.08.1993. Бюл. N 32.

16. Пат. N 2620083, Российская Федерация, C10L 1/185, C10L 1/182, C10L 10/10, C10L 1/00. Способ получения антидетонационной добавки к автомобильным бензинам и топливная композиция, содержащая добавку, полученную разработанным способом / М.А. Ершов, Д.А. Потанин, В.М. Капустин, Е.В. Александрова, Р.В. Хакимов; заявитель и патентообладатель АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти». Заявл. 29.06.2016; опубл. 23.05.2017. Бюл. N 15.

17. Пат. N 2616606, Российская Федерация, C10L 1/06, C10L 1/18, C10L 1/182, C10L 1/185, C10L 1/16. Высокооктановый автомобильный бензин и антидетонационная добавка для его получения / М.А. Ершов, Г.Н. Романова, Е.В. Александрова, Д.А. Потанин; заявитель и патентообладатель АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти». Заявл. 14.04.2016; опубл. 18.04.2017. Бюл. N 11.

18. Георгиева Э.Ю., Сундунов А.В. Изучение возможности применения спиртов в качестве высокооктанового компонента бензина каталитического кре-

кинга // *Аллея Науки*. 2018. N 6. С. 220–224.

19. Nikulin R.M., Kharlampidi Kh.E., Khamidullin R.F., Sitalo A.V., Sharaf F.A. Synergistic blend based on glycol ethers as antiknock additives to motor // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2017. Vol. 52, no. 6. P. 762–772.

20. Стряхилева М.Н., Крымова Г.Н., Чаплиц Д.Н., Павлова И.П., Баунов А.М. Производство метил-трет-алкиловых эфиров – высокооктановых компонентов бензинов. М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1988. 72 с.

21. Пат. N 2473670, Российская Федерация, C10L 1/182, C10L 1/185, C10L 1/19, C10L 1/223. Комплексная добавка к автомобильным бензинам / С.А. Галактионов, К.П. Черняев, С.А. Еровиченков, В.В. Чубриков, С.И. Киреев, А.Н. Пономарев, И.А. Строков; заявитель и патентообладатель С.А. Галактионов, К.П. Черняев, С.А. Еровиченков, В.В. Чубриков, С.И. Киреев, А.Н. Пономарев, И.А. Строков. Заявл. 28.10.2011; опубл. 27.01.2013. Бюл. N 3.

22. Пат. N 2603644, Российская Федерация, C10L 1/18, C10L 1/182, C10L 10/10. Октаноповышающая добавка к автомобильным бензинам и топливная композиция, ее содержащая / М.А. Ершов, Е.В. Григорьева, В.Е. Емельянов, М.А. Брыксина, Л.А. Смирнова; заявитель и патентообладатель АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти». Заявл. 21.10.2015; опубл. 27.11.2016. Бюл. N 33.

23. Ecklund E.E., Parker A.J., Timbario T.J., Mecallum P.W. Use of alcohol-based fuels // *Energy Converse*. 1978. Vol. 1. P. 226–232.

24. Дмитриченко О.И., Березин В.А., Бородин Е.В., Перин В.Н. Алкилат – идеальный компонент современных автомобильных бензинов // *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*. 2010. N 7. С. 18–19.

25. Ахмадова Х.Х., Магомадова М.Х., Ахмадова А.Р. Алкилат – основной компонент высокооктановых бензинов // *Вестник ГГНТУ. Технические науки*. 2019. T. 15. N 4. С. 49–59. <https://doi.org/10.34708/GSTOU.2019.18.4.006>.

26. Ершов М.А., Емельянов Е.В., Климова Т.А. Биобутанол в сравнении с другими оксигенатами // *Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний*. 2012. N 2. С. 3–6.

REFERENCES

1. Safina T.A. Analysis of consumer preferences on the market automobile gasoline. *Statistika i ekonomika = Statistics and Economics*. 2014;(4):174-178. (In Russian). <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2014-4-174-178>.

2. Chirkova Yu.N., Arkhipov I.V. Modern requirements for motor gasoline. *Alleya nauki*. 2018;(5):401-407. (In Russian).

3. Tsarev A.V., Karpov S.A. Improving the environmental and performance characteristics of motor gasoline by the introduction of oxygenates. *Khimicheskaya tekhnologiya = Chemical Technology*. 2007;(7):324-329. (In Russian).

4. Ganina A.A. Modern motor gasolines with additives based on domestic raw materials. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii = World of Petroleum Products*. 2017;(10):42-48. (In Russian).

5. Ganina A.A., D'yachkova S.G., Derkach D.S. Modern motor gasolines with additives based on domestic raw materials. In: *Aktual'nye problemy razvitiya neftegazovogo kompleksa Rossii: XII Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya = Actual problems of development of the oil and gas complex of Russia: XII All-Russian Scientific and Technical Conference*. 12–14 February, 2018, Moscow. Moscow; 2018, p. 220-224. (In Russian).

6. Dubrovskiy D.A., Semenov I.A., Kuzora I.E., Starikova O.V., Artem'eva Z.N., Dyachkova S.G. Expansion of the range of additives for the base fuel of angarsk petrochemical company. Problems and prospects. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii = World of Petroleum Products*. 2018;(12):4-13. (In Russian).

7. McCormick R.L., Ratcliff M.A., Christensen E.D., Fouts L., Luecke J., Chupka G.M., et al. Properties of oxygenates found in upgraded biomass pyrolysis oil as

components of spark and compression ignition engine fuels. *Energy & Fuels*. 2015;29(4):2453-2461. <https://doi.org/10.1021/ef502893g>.

8. Abdellatif T.M.M., Ershov M.A., Kapustin V.M., Chernysheva E.A., Savelenko V.D., Abdelkareem M.A., et al. Uniqueness technique for introducing high octane environmental gasoline using renewable oxygenates and its formulation on fuzzy modeling. *Science of the Total Environment*. 2022;802:149863. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149863>.

9. Ershov M.A., Savelenko V.D., Makhova U.A., Kapustin V.M., Abdellatif T.M.M., Potanin D.A., et al. New insights on introducing modern multifunctional additives into motor gasoline. *Science of the Total Environment*. 2022;808:152034. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152034>.

10. Emel'yanov V.E., Krylov I.F. *All about fuel. Automobile gasoline and other types of fuel: properties, range, application*. Moscow: Astrel'; 2003, 79 p. (In Russian).

11. Costa D.R. Gasoline octane number determination. *Combustion*. 1968;39(9):18.

12. Abdellatif T.M.M., Ershov M.A., Kapustin V.M., Ali Abdelkareem M., Olabi A.G., Kamil M. Recent trends for introducing promising fuel components to enhance the anti-knock quality of gasoline: a systematic review. *Fuel*. 2021;291:120112.

13. Khamidullin R.F., Kharlampidi Kh.E., Nikulin R.M., Puchkova T.L., Badrutdinova A.R., Galiullina M.M. Manufacturability, environmental friendliness and efficiency of oxygenate additives to motor fuel. *Neftgaz*. 2015. (In Russian).

14. Mikishev V.A., Trukhina A.A., Andriyanov M.V., Glazkova M.S. The industrial experience the unit of synthesis mtbe in the JSC "Angarsk petrochemical company". *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii = World of Petroleum Products*. 2015;(9):29-31. (In Russian).

15. Burmistrov O.A., Lebedev S.R., Kuznetsova L.N., Khotulev G.P., Platkovskii E.A., Belyanskii V.P., Lesovoi G.A., Bezz V.V., Sarimov R.Sh. *Composition of hydrocarbon fuel*. Patent RF, no. 1838383; 1993. (In Russian).

16. Ershov M.A., Potanin D.A., Kapustin V.M., Aleksandrova E.V., Khakimov R.V. *A method for producing an anti-knock additive for motor gasoline and a fuel*

composition containing an additive obtained by the developed method. Patent RF, no. 2620083; 2017. (In Russian).

17. Ershov M.A., Romanova G.N., Aleksandrova E.V., Potanin D.A. *High-octane motor gasoline and anti-knock additive for production thereof*. Patent RF, no. 2616606; 2017. (In Russian).

18. Georgieva E.Yu., Sundurov A.V. Study of the possibility of using alcohols as a high-octane component of catalytic cracking gasoline. *Alleya Nauki*. 2018;(6):220-224. (In Russian).

19. Nikulin R.M., Kharlampidi Kh.E., Khamidullin R.F., Sitalo A.V., Sharaf F.A. Synergistic blend based on glycol ethers as antiknock additives to motor. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2017;52(6):762-772.

20. Stryakhileva M.N., Krymova G.N., Chaplits D.N., Pavlova I.P., Baunov A.M. *Production of methyl tert-alkyl ethers – high-octane components of gasoline*. Moscow: TsNIITENeftekhim; 1988. 72 p. (In Russian).

21. Galaktionov S.A., Chernyaev K.P., Erovinchenkov S.A., Chubrikov V.V., Kireev S.I., Ponomarev A.N., Stokov I.A. *Complex gasoline additive*. Patent RF, no. 2473670; 2013. (In Russian).

22. Ershov M.A., Grigor'eva E.V., Emel'yanov V.E., Bryksina M.A., Smirnova L.A. *Octane booster additive to motor gasolines and containing it fuel composition*. Patent RF, no. 2603644; 2016. (In Russian).

23. Ecklund E.E., Parker A.J., Timbario T.J., Mecalum P.W. Use of alcohol-based fuels. *Energy Conserve*. 1978;1:226-232.

24. Dmitrichenko O.I., Berezin V.A., Borodin E.V., Perin V.N. Alkylate is an ideal component of modern motor gasolines. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoi opyt*. 2010;(7):18-19. (In Russian).

25. Ahmadova Kh.Kh., Magomadova M.H., Akhmadova A.R. Alkylate – main component high octane gasoline. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki = Herald of GSTOU. Engineering Sciences*. 2019;15(4):49-59. (In Russian). <https://doi.org/10.34708/GSTOU.2019.18.4.006>.

26. Ershov M.A., Emel'yanov V.E., Klimova T.A. Comparison biobutanol to other oxygenates. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii = World of Petroleum Products*. 2012;(2):3-6. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковалева Екатерина Борисовна,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
✉KOvalevaEB@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7996-9812>

Дьячкова Светлана Георгиевна,
д.х.н., заведующая кафедрой химической технологии,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
dyachkova@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-6091-3077>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina B. Kovaleva,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., 664074, Irkutsk,
Russian Federation,
✉KOvalevaEB@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7996-9812>

Svetlana G. D'yachkova,
Dr. Sci. (Chemistry), Head of the Department
of Chemical Technology,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., 664074, Irkutsk,
Russian Federation,
dyachkova@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-6091-3077>

Ганина Анна Александровна,
к.т.н., главный специалист по нефтехимии,
АО «Ангарская нефтехимическая компания»,
665830, г. Ангарск, ул. Промзона АНХК,
объект 1445,
GaninaAA@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9140-9431>

Артемяева Жанна Николаевна,
к.т.н., начальник Испытательного центра –
управления контроля качества,
АО «Ангарская нефтехимическая компания»,
665830, г. Ангарск, ул. Промзона АНХК,
объект 1445,
ArtemevaZN@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3371-5785>

Кузора Игорь Евгеньевич,
к.т.н., заместитель начальника ИЦ-УКК
по новым технологиям,
АО «Ангарская нефтехимическая компания»,
665830, г. Ангарск, ул. Промзона АНХК,
объект 1445,
KuzoralE@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7039-2017>

Гершпигель Татьяна Николаевна,
начальник отдела технологического контроля,
АО «Ангарская нефтехимическая компания»,
665830, г. Ангарск, ул. Промзона АНХК,
объект 1445,
GershpigelTN@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4387-9054>

Олейник Даниил Александрович,
инженер-лаборант,
АО «Ангарская нефтехимическая компания»,
665830, г. Ангарск, ул. Промзона АНХК,
объект 1445,
DA_Oleynik@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8124-0652>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный
вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 13.03.2022.
Одобрена после рецензирования 27.10.2022.
Принята к публикации 28.02.2023.

Anna A. Ganina,
Cand. Sci. (Engineering), Chief Specialist in Petrochemistry,
SC "Angarsk petrochemical company",
1445 object, Industrial zone APCC St.,
665830, Angarsk, Russian Federation,
GaninaAA@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9140-9431>

Zhanna N. Artemyeva,
Cand. Sci. (Engineering), Head of the Testing Center –
Quality Control Department,
SC "Angarsk petrochemical company",
1445 object, Industrial zone APCC St.,
665830, Angarsk, Russian Federation,
ArtemevaZN@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3371-5785>

Igor E. Kuzora,
Cand. Sci. (Engineering), Deputy Chief
of the TC-QCD on New Technologies,
SC "Angarsk petrochemical company",
1445 object, Industrial zone APCC St.,
665830, Angarsk, Russian Federation,
KuzoralE@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7039-2017>

Tatiana N. Gerspiegel,
Head of Technological Control Department,
SC "Angarsk petrochemical company",
1445 object, Industrial zone APCC St.,
665830, Angarsk, Russian Federation,
GershpigelTN@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4387-9054>

Daniil A. Oleinik,
Laboratory Engineer,
SC "Angarsk petrochemical company",
1445 object, Industrial zone APCC St.,
665830, Angarsk, Russian Federation,
DA_Oleynik@anhk.rosneft.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8124-0652>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding
the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all
the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 13.03.2022.
Approved after reviewing 27.10.2022.
Accepted for publication 28.02.2023.